



Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

 РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 РАДИОКОНСТРУКТОРСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ  
ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

 ФАКУЛЬТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ


 ФАКУЛЬТЕТ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

 ГУМАНИТАРНЫЙ  
ФАКУЛЬТЕТ


 ФАКУЛЬТЕТ  
БЕЗОПАСНОСТИ

 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ  
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

 ЮРИДИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 ЗАОЧНЫЙ И ВЕЧЕРНИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ  
ДИСТАНЦИОННОГО  
ОБУЧЕНИЯ



**ВЫБИРАЯ БУДУЩЕЕ,  
ВЫБИРАЙ TUSUR!**

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, каб. 129 E-mail: [onir@main.tusur.ru](mailto:onir@main.tusur.ru)  
Телефон/Факс: (3822) 900-100 Сайт: <http://tusur.ru/>

Информационный центр абитуриента: [magistrant.tusur.ru](http://magistrant.tusur.ru)

## Сборник избранных статей научной сессии TUSUPa



**ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

«НАУЧНАЯ СЕССИЯ TUSUPa-2019»

г. Томск, 22–24 мая 2019 г.

(в двух частях)

**ЧАСТЬ 1**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)»

# **Сборник избранных статей научной сессии ТУСУРа**

**по материалам  
Международной научно-технической конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
«Научная сессия ТУСУР–2019»**

**22–24 мая 2019 г., г. Томск**

**В двух частях**

Часть 1

В-Спектр  
2019

**УДК 621.37/.39+681.518 (063)**

**ББК 32.84я431+32.988я431**

**С 23**

**С 23 Сборник избранных статей научной сессии ТУСУРа** (Томск, 22–24 мая 2019 г.): в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 1. – 320 с.

ISBN 978-5-91191-410-3

ISBN 978-5-91191-411-0 (Ч. 1)

Сборник включает избранные статьи по итогам Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Конференция посвящена различным аспектам разработки, исследования и практического применения радиотехнических, телевизионных и телекоммуникационных систем и устройств, сетей электро- и радиосвязи, вопросам проектирования и технологии радиоэлектронных средств, аудиовизуальной техники, бытовой радиоэлектронной аппаратуры, а также автоматизированных систем управления и проектирования. Рассматриваются проблемы электроники СВЧ- и акустооптоэлектроники, нанопотоники, физической, плазменной, квантовой, промышленной электроники, радиотехники, информационно-измерительных приборов и устройств, распределенных информационных технологий, вычислительного интеллекта, автоматизации технологических процессов, в частности, в системах управления и проектирования, информационной безопасности и защиты информации. Представлены статьи по математическому моделированию в технике, экономике и менеджменте, антикризисному управлению, правовым проблемам современной России, автоматизации управления в технике и образовании, а также работы, касающиеся социокультурных проблем современности, экологии, мониторинга окружающей среды и безопасности жизнедеятельности.

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

**ISBN 978-5-91191-410-3**

**ISBN 978-5-91191-411-0 (Ч. 1)**

© Том. гос. ун-т систем управления  
и радиоэлектроники, 2019

При сравнении зависимостей, полученных для СМ (рис. 3), видно, что отличаются минимальные (очень малые) значения напряжений в диапазоне частот от  $10^7$  Гц до  $10^9$  Гц. Такое различие может быть обусловлено разными вычислительными погрешностями.

В дальнейшем целесообразно реализовать полученный алгоритм в системе TALGAT для оценки одновременного влияния разбалансировки и нерегулярности в ДЛ с меньшими вычислительными затратами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI 57417X0172.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Grassi F. Effects of undesired asymmetries and nonuniformities in differential lines / F. Grassi, P. Manfredi, X. Liu et al. // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – October 2017. – Vol. 59, No. 5. – P. 1613–1624.

2. Болатова Л.К. Разработка алгоритма и программы для квазистатического анализа согласованной дифференциальной линии в воздухе // 23-я Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР». – Томск, 16–18 мая 2018 г. – Ч. 2. – Томск, 2018. – С. 238–240.

3. Болатова Л.К. Алгоритм и программа для квазистатического анализа регулярной разбалансированной дифференциальной линии в воздухе // XIV Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – Томск, 28–30 ноября 2018 г. – Ч. 1. – Томск, 2018. – С. 267–269.

4. Болатова Л.К. Алгоритм и программа для квазистатического анализа нерегулярной сбалансированной дифференциальной линии в воздухе // 24-я Междунар. науч.-техн. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири», Томск, 28 ноября 2018 г. – Томск, 2018. – С. 130–134.

УДК 621.391.825

### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА**

*Е.Б. Черникова, магистрант каф. ТУ*

*Научный руководитель А.М. Заболоцкий, проф. каф. ТУ, д.т.н.*

*г. Томск, ТУСУР, [chiernikova96@mail.ru](mailto:chiernikova96@mail.ru)*

Анализируется влияние влагозащитного покрытия на характеристики зеркально-симметричного модального фильтра. Представлены результаты моделирования временного отклика на воздействие сверхкороткого импульса длительностью 150 пс при толщине покрытия 20, 40, 60 мкм.

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, устройство защиты, сверхкороткий импульс, модальная фильтрация, влагозащитное покрытие, зеркально-симметричный модальный фильтр.

В настоящее время наблюдается массовое внедрение радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) практически во все отрасли, в том числе в военную, атомную и космическую, что ведёт к обострению проблемы обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС). Из-за уязвимости РЭА к электромагнитным воздействиям возникает необходимость решения вопросов защиты РЭА от электромагнитных помех, в частности, от сверхкоротких импульсов (СКИ). Для этого предложена технология модальной фильтрации, основанная на модальном разложении импульса на импульсы меньшей амплитуды [1]. Также известны новые устройства, работающие по принципу модальной фильтрации, – модальные фильтры (МФ).

Предложен новый подход к совершенствованию модальной фильтрации за счет использования зеркальной симметрии [2]. Между тем оценка влияния влагозащитного покрытия на характеристики зеркально-симметричного МФ ранее не рассматривалась. Цель данной работы – выполнить такое исследование.

Традиционно для влагозащиты печатных плат (ПП) применяют лаки на основе уретановых, акриловых и эпоксидных смол, которые также выполняют важную функцию защиты поверхности ПП от загрязнений и случайных замыканий проводников. Нанесение влагозащитного покрытия обеспечивает надежность функционирования изделий в различных климатических условиях [3].

Для анализа влияния влагозащитного покрытия на параметры зеркально-симметричного МФ выбран лак ЭП-730 (ГОСТ 20824–81), который наносится на плату в 3 слоя и представляет раствор эпоксидной смолы в смеси органических растворителей с добавлением отвердителя. В соответствии с ГОСТ 20824–81 толщина высушенной однослойной пленки составляет 18–22 мкм, при значении тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg}\delta = 0,03$  и диэлектрической проницаемости  $\epsilon_r = 3,5$  на частоте 1 МГц.

Моделирование зеркально-симметричного МФ, покрытого 1, 2 и 3 слоями лака с толщиной ( $h_o$ ) 20, 40 и 60 мкм соответственно, выполнено в системе TALGAT [4]. Поперечное сечение исследуемого МФ, покрытого одним слоем лака ( $h_o = 20$  мкм), представлено на рис. 1, где  $w$  – ширина проводников,  $s$  – разнос проводников,  $t$  – толщина проводников,  $h$  – толщина диэлектрика,  $\epsilon_r$  – диэлектрическая проницаемость подложки.

Допускалось, что в МФ распространяется только Т-волна. Потери в проводниках и диэлектриках на данном этапе не учитывались. Моделирование МФ выполнялось при параметрах поперечного сечения из [5]. Значения резисторов  $R$  равны 50 Ом. Длина линии  $l = 1$  м. В

качестве импульсного воздействия использовался источник ЭДС с амплитудой 5 В с длительностями фронта, спада и плоской вершины по 50 пс, так что общая длительность составила 150 пс. Форма ЭДС представлена на рис. 2, а, а принципиальная электрическая схема – на рис. 2, б.

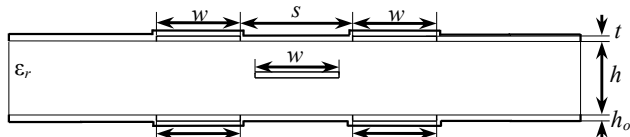


Рис. 1. Поперечное сечение зеркально-симметричного МФ, покрытого одним слоем лака

Результаты моделирования (значения максимального напряжения в конце активного проводника  $U_{\max}$  и временных интервалов между импульсами разложения  $\Delta t_i$ ) зеркально-симметричного МФ, покрытого 1, 2 и 3 слоями лака, а также без покрытия сведены в таблицу. Формы сигналов на выходе МФ показаны на рис. 3.

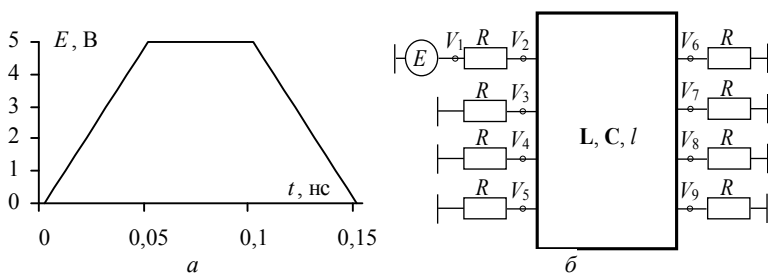


Рис. 2. Форма ЭДС импульсного воздействия (а) и принципиальная электрическая схема (б) зеркально-симметричного МФ

### Характеристики зеркально-симметричного МФ с влагозащитным покрытием

$h_0$ , мкм	$U_{\max}$ , В	$\Delta t_1$ , нс	$\Delta t_2$ , нс	$\Delta t_3$ , нс
0	0,625	0,49	0,49	0,49
20	0,6298	0,525	0,481	0,471
40	0,6295	0,514	0,454	0,459
60	0,6301	0,538	0,469	0,474

Из таблицы видно, что с ростом параметра  $h_0$  значение  $U_{\max}$  практически остаётся неизменным и не превышает 0,63 В, что в 7,93 раза меньше ЭДС, тогда как МФ с оптимальными параметрами без покры-

вающего слоя раскладывает СКИ на импульсы в 8 раз меньше ЭДС [5]. При увеличении  $h_o$  значения  $\Delta t_i$  изменяется нелинейно, однако из таблицы видно, что значения  $\Delta t_i$  являются примерно выравненными. Действительно значения  $\Delta t_i$  сначала уменьшаются, а затем увеличиваются. Минимальное значение  $\Delta t_i$  ведет себя так же, но остается практически прежним (от 0,471 до 0,469 нс). Этот факт подтверждается формами сигнала на выходе МФ с примерно выравненными временными интервалами между импульсами разложения, полученными при увеличении  $h_o$ .

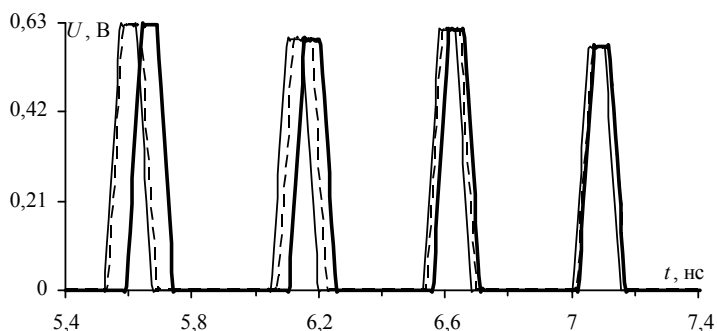


Рис. 3. Формы сигналов на выходе зеркально-симметричного МФ при  $h_o=20$  (—), 40 (---), 60 (-·-) мкм

Таким образом, выполнен анализ зеркально-симметричного МФ, покрытого 1, 2 и 3 слоями лака. Получено, что увеличение толщины лака незначительно сказывается на выходных параметрах сигнала. Однако выявлен нелинейный характер влияния толщины лака на минимальную разность задержек импульсов. Это требует дополнительного исследования.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МД-365.2018.8.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gazizov A.T., Zabolotsky A.M., Gazizov T.R. UWB pulse decomposition in simple printed structures // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2016. – Vol. 58, No. 4. – P. 1136–1142.
2. Заболоцкий А.М. Использование зеркальной симметрии для совершенствования модальной фильтрации // Доклады ТУСУР. – 2015. – Т. 2, № 36. – С. 41–44.
3. Кирдяев М.М., Кочегаров И.И., Трусов В.А. Влагозащитные покрытия печатных плат // Тр. междунар. симпозиума «Надежность и качество». – 2015. – Т. 2. – С. 329–336.

4. Куксенко С.П., Заболоцкий А.М., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Р. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT // Доклады ТУСУР. – 2015. – Т. 2, № 36. – С. 45–50.

5. Белоусов А.О., Черникова Е.Б., Заболоцкий А.М. Трехкритериальная оптимизация как ресурс для совершенствования зеркально-симметричного модального фильтра // Матер. 23-й Междунар. науч.-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (Сибресурс-23-2017)», г. Томск, 24 ноября 2017. – Томск, 2018. – С. 150–154.

УДК 519.688

### **ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКСТРЕМУМОВ СИГНАЛА С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ В ДВУХВИТКОВОЙ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЕЕ ПРОВОДНИКАМИ**

*Рустам Р. Газизов, студент каф. БИС;*

*М.Н. Калинина, студентка каф. философии образования,  
МГУ, Москва*

*Научный руководитель Руслан Р. Газизов, аспирант каф. ТУ  
г. Томск, ТУСУР, gazizovtsk@yandex.ru*

Проведено моделирование распространения сверхкороткого импульса вдоль проводников двухвитковой меандровой линии с учетом и без учета потерь в проводниках и диэлектриках. Получены максимумы напряжения и их локализация для 5 значений расстояния между проводниками. Показано, что изменение расстояния между проводниками незначительно влияет на амплитуду максимума (до 1,33%) и не влияет на ее локализацию.

**Ключевые слова:** моделирование, линия передачи, локализация, экстремум сигнала, сверхкороткий импульс.

В настоящее время радиоэлектронная аппаратура развивается стремительными темпами, что влечет за собой повышение требований к ее надежности и помехозащищенности. В этой связи важны выявление и локализация экстремумов сигнала, поскольку они позволяют определить места с превышением допустимого уровня сигнала, чтобы своевременно устранить это. Ранее была исследована С-секция при изменении ее геометрических параметров без учета потерь в проводниках и диэлектриках [1], изменении расстояния между проводниками [2], изменении длин проводников, а также при изменении длительности сверхкороткого импульса (СКИ) [3]. Исследована двухвитковая меандровая линия с учетом потерь в проводниках и диэлектриках [4] и без учета потерь [5]. В связи с тем, что в [4] выявление и локализация экстремумов сигнала в двухвитковой меандровой линии проводи-



*А.А. Колегов, А.В. Черникова, Д.В. Сарасеко, К.А. Денисенко*  
СЛОЖЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ С ПОМОЩЬЮ  
ОПТОВОЛОКОННЫХ СИГНАЛЬНЫХ ОБЪЕДИНИТЕЛЕЙ.....216

*М.Н. Гаппарова, Н.А. Иванченко, А.С. Перин*  
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
КОГЕРЕНТНЫХ СВЕТЛЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СОЛИТОНОВ  
В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ НИОБАТЕ ЛИТИЯ  
С УЧЕТОМ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА.....219

## **ПОДСЕКЦИЯ 2.6**

### **ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ**

*Председатель секции – Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ, д.т.н.;*  
*зам. председателя – Куксенко С.П., доцент каф. ТУ, к.т.н.*

*А.М. Артюшкина, А.В. Демаков*  
РАЗРАБОТКА КОАКСИАЛЬНОЙ КАМЕРЫ  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ  
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....222

*К.В. Симонова, Д.С. Бодажков*  
ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КВЧ-ДИАПАЗОНА, ПОЛУЧАЕМЫХ  
МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ.....225

*Л.К. Болатова*  
АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА ДЛЯ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО  
АНАЛИЗА НЕРЕГУЛЯРНОЙ РАЗБАЛАНСИРОВАННОЙ  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЛИНИИ В ВОЗДУХЕ.....228

*Е.Б. Черникова*  
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ  
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО  
МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА.....232

*Рустам Р. Газизов, М.Н. Калинина*  
ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКСТРЕМУМОВ СИГНАЛА С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ  
В ДВУХВИТКОВОЙ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ  
РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЕЕ ПРОВОДНИКАМИ.....236

*Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков*  
РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА  
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ ПИКОСЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА..240

*Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков*  
СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА  
ДЛЯ ПИКОСЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА.....244

*Ч.Л. Хомушку*  
ВЫЯВЛЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭКСТРЕМУМОВ СИГНАЛА  
В СИЛОВОЙ ШИНЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.....247

<b>М.В. Храпцов</b> ВЛИЯНИЕ КАСКАДИРОВАНИЯ ПОМЕХОЗАЩИТНЫХ ФИЛЬТРОВ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.....	251
<b>А.А. Иванов</b> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО КОРПУСА МЕТОДОМ МАТРИЦЫ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ.....	255
<b>К.А. Бокова, А.А. Иванов</b> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ КОРПУСА МУЛЬТИПЛЕКСОРА FOX-515 .....	259
<b>С.Х. Карри, Р.С. Суровцев</b> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОДЛОЖКИ НА РАССЕЯНИЕ МОЩНОСТИ СИГНАЛА В МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ.....	262
<b>А.А. Квасников</b> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ TALGAT .....	266
<b>И.И. Николаев</b> ВЛИЯНИЕ ДВОЙНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОЙ ШИНЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ЕЁ ПОГОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ .....	270
<b>М.А. Самойличенко</b> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА С ПАССИВНЫМ ПРОВОДНИКОМ В ОПОРНОЙ ПЛОСКОСТИ НА АМПЛИТУДУ ИМПУЛЬСОВ РАЗЛОЖЕНИЯ .....	273
<b>Л.Т. Таалайбек, М.А. Ембергенов</b> ПОИСК МАКСИМУМА НАПРЯЖЕНИЯ В СВЯЗАННОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ С ПОМОЩЬЮ ЭВОЛЮЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ.....	275
<b>Е.С. Жечев</b> ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЫЧЕК В ОПОРНОМ ПРОВОДНИКЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА.....	279

## **ПОДСЕКЦИЯ 2.7**

### **ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ**

*Председатель секции – Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.;*  
*зам. председателя – Вилисов А.А., проф. каф. РЭТЭМ, д.т.н.*

<b>А.А. Максименко, Е.С. Ганская, М.В. Андреева</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПАСА СВЕТОДИОДНОГО ИЗЛУЧАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА .....	282
<b>Д.В. Кожокару, Е.С. Ганская, Е.С. Гайбович</b> МЕТОДЫ ГЕРМЕТИЗАЦИИ СВЕТОДИОДОВ БЕЛОГО ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ .....	284